



**8° CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA**  
Cusco, 23 al 25 de Octubre de 2007

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA QUEMA DIRECTA DE DIESEL Y ALCOHOL  
ETÍLICO HIDRATADO**

Edgar Paz Pérez\*, João Andrade de Carvalho Jr\*, Luiz Roberto Carrocci\*, Marco Aurelio Ferreira\*, Ely Vieira Cortez\*, Carlos Romero Luna\*

\* Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá FEG – UNESP; Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333 - CEP 12516-410- Guaratinguetá, SP Brasil; Tel: (012) 31232800

++ Laboratorio de Combustão e Propulsão do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais LCP-INPE; Rodovia Presidente Dutra km 40 Cachoeira Paulista, SP Brasil; Tel: (012) 318629394

E-mail: [edgarpaz@feg.unesp.br](mailto:edgarpaz@feg.unesp.br); [c\\_romeroluna@yahoo.com](mailto:c_romeroluna@yahoo.com)

**RESUMEN**

Este artículo presenta un estudio sobre la sustitución de diesel por alcohol combustible en la quema directa. El estudio comparativo se centra principalmente en las propiedades físico-químicas de los combustibles, en la termodinámica de la combustión y en la atomización y formación de productos de la combustión. Los resultados muestran que el alcohol etílico hidratado se presenta como un sustituto interesante del diesel, sobre todo por sus beneficios en la combustión y en la formación de poluentes, sin embargo se debe observar que en la sustitución algunos cuidados deben ser tomados en cuenta para prevenir pérdidas por evaporación, riesgos de incendios y daño de los materiales por corrosión.

## INTRODUCCIÓN

Desde la creación del Programa de Alcohol Brasileiro **PROALCOOL**, la utilización de alcohol etílico hidratado combustible (**AECH**) en la quema directa, fue desalentada por su bajo poder calorífico y mayor costo relativo a los derivados del petróleo. En las últimas décadas, el aumento del precio del petróleo, sumado a la reducción del precio del **AEHC** han disminuido esa diferencia de precios principalmente con relación al diesel. Esa diferencia de precios puede ser disminuida más en la medida en que se dicten políticas adecuadas por parte del gobierno como: normas de regulación del mercado de combustibles, inversiones en investigaciones e incentivo a la producción (aumento de la oferta). Brasil tiene la capacidad para incrementar todavía más la producción de alcohol combustible. **El PROALCOOL** fue planificado para una capacidad instalada de producción de 16 billones de litros por año, hoy son producidos 10,4 billones de litros por año, significa que 35% de la industria de caña de azúcar que fue proyectada inicialmente está esperando para ser reactivada, adicionalmente, la plantación de caña de azúcar representa una pequeña porción de las tierras cultivables del país. En el año 2001, el área con caña de azúcar representó 10,8% del área cultivada en Brasil, la cual equivale a menos de 1% de las tierras cultivables.

El diesel es utilizado principalmente en motores de combustión interna de navíos y vehículos pesados. Él es usado en menor escala en la quema directa, sobretodo en sistemas donde se necesita un combustible limpio, por ejemplo, en sistemas de secado. La producción brasileña de diesel no satisface su demanda, necesiéndose importar grandes cantidades de ese combustible, convirtiéndose en el derivado del petróleo con mayor volumen de importaciones.

## PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y DE MEZCLA

### VISCOSIDAD

La viscosidad cinemática del diesel a 300 K, es aproximadamente el doble del alcohol etílico (3,707 y 1,78 cSt, respectivamente). La menor viscosidad del **AECH** favorece para la disminución del diámetro medio de las gotas producidas por el atomizador, con eso, se obtiene una mejor mezcla entre los reactantes y en consecuencia, una mayor eficiencia de la combustión.

En los quemadores que utilizan diesel, la lubricación de los sistemas de inyección se realiza por el propio combustible ya que las bombas para impulsarlo son rotativas de desplazamiento positivo. Debido a su baja viscosidad, el **AEHC** no puede ser impulsado por esas bombas, ni ser utilizado como lubricante, por lo tanto, no puede ser utilizado directamente sin modificaciones previas del sistema de bombeo del combustible y de la lubricación del quemador.

### VOLATILIDAD

La volatilidad tiene mucha importancia en la quema de un combustible líquido. El incremento de la misma favorece para el aumento del rendimiento de la combustión, disminución de las emisiones de CO, UHC, y de material particulado, por otro lado, una mayor volatilidad acarrea mayor riesgo de pérdidas por evaporación, de incendios y menor luminosidad de la llama. La volatilidad de un combustible puede ser evaluada a partir del conocimiento de su intervalo de destilación, la presión de vapor y el punto de fulgor.

En la Figura 1 se observa que, en la misma temperatura, la presión de vapor de alcohol es superior a la presión de vapor de diesel y esa diferencia es más notoria conforme la temperatura aumenta, eso significa que el alcohol es más volátil, siendo eso favorable para una mejor combustión. El alcohol

hidratado a la presión atmosférica evapora a 78 °C, en cuanto el diesel, por ser una mezcla de hidrocarburos, vaporiza en el intervalo de 177 a 337 °C.

El punto de fulgor es la mínima temperatura en la cual un combustible desprende suficiente vapor para formar una mezcla inflamable con aire. En la Tabla 1, se observa que esa variable es 13 °C para el etanol y 64 °C para el diesel, eso significa que el alcohol puede quemar antes que el diesel; a la temperatura ambiente el etanol ya forma una mezcla inflamable.

### LIMITES DE INFLAMABILIDAD

En la Tabla 1, también son presentados los límites de inflamabilidad del etanol y del diesel. En ella se aprecia que el intervalo de valores para el etanol es amplia, mayor que del diesel y de la gasolina. Esa amplitud de valores nos dice que el alcohol etílico puede formar una mezcla inflamable en un amplio rango de valores, en consecuencia son mayores los riesgos de incendios.

Por otro lado el diesel tiene un valor bien bajo de su límite inferior de inflamabilidad (0,6%) lo que significa que con una pequeña cantidad de combustible en el aire el ya forma una mezcla inflamable, pero por no ser volátil, necesita ser calentado (hasta 64 °C) para alcanzar esta condición. Se puede observar también que su intervalo de inflamabilidad es pequeño.

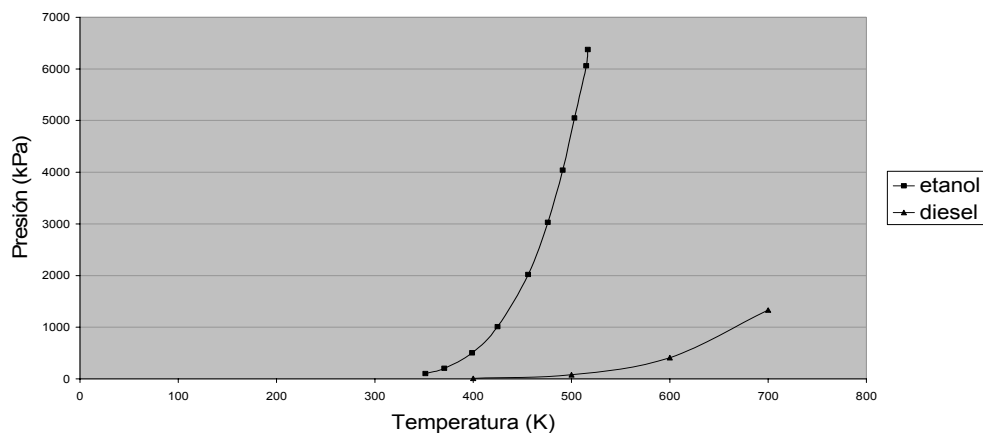


Figura 1 Presión de vapor en función de la temperatura.

Tabla 1 Límites de inflamabilidad

	<b>Diesel</b>	<b>Etanol</b>	<b>gasolina</b>
<b>Límites de inflamabilidad (%)</b>	0,6 – 5,6	3,3 – 19	1,4 – 7,6
<b>Límites de inflamabilidad (°C)</b>	64 – 150	13 – 42	-40 – 18
<b>Punto de fulgor (°C)</b>	64	13	-40

Fuente: (HANSEN, et al. 2005)

## TERMODINÁMICA DE LOS COMBUSTIBLES

En esta sección fueron realizados cálculos termodinámicos de los combustibles en estudio, como razón aire/combustible, cantidad emitida de los productos de la combustión y temperatura de llama adiabática. En los cálculos fue considerado combustión completa. Las formulas químicas del diesel y del etanol utilizadas fueron respectivamente  $CH_{1,81}$  e  $C_2H_5OH$ , siendo el índice alcohólico del **AEHC** de 93° INPM. Los resultados son presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Cuadro comparativo del alcohol etílico hidratado y del diesel.

	diesel	alcohol etílico hidratado	(alcohol/diesel)X100
Poder calorífico [Kcal/kg]	10060	5952	59,2
Relación aire/combustible [kg / kg]	14,859	8,327	57,8
Relación aire/combustible [gr / Kcal]	1,477	1,399	94,7
Emisión de CO <sub>2</sub> [gr CO <sub>2</sub> /Kcal]	0,317	0,299	94,6
Emisión máxima de SO <sub>2</sub> [gr /Gcal]	696	0,54	0,08
Emisión media de SO <sub>2</sub> [gr /Gcal]	437	--	--
Temperatura de llama adiabática [K]	2385	2330	97,7

De la Tabla 2, se puede observar que el poder calorífico del **AEHC** es aproximadamente 60% del poder calorífico del diesel; sin embargo, la relación en masa aire/combustible del alcohol es aproximadamente 58% del diesel, lo que hace que la cantidad de aire por unidad de energía necesaria para la combustión de alcohol sea ligeramente menor que la correspondiente a la del diesel (94.7%). Las temperaturas de llamas adiabáticas de esos combustibles también son aproximadamente las mismas (alcohol 97,7% do diesel). Siendo el valor de esos dos parámetros muy próximos en la quema de ambos combustibles (para liberarse la misma cantidad de energía), el volumen de los gases producto de la combustión es aproximadamente el mismo en ambos casos, trayendo como consecuencia que el tiempo de residencia y el nivel de turbulencia dentro de la cámara de combustión sean casi los mismos con la quema de alcohol y con la del diesel. El hecho que la temperatura de la llama, el volumen de gases, el tiempo de residencia y la turbulencia de los gases sean aproximadamente los mismos en la quema de ambos combustibles, significa que esas variables por si no alteraran los valores de las emisiones de cada uno de los productos de la combustión cuando se realice la substitución de etanol por diesel.

De la Tabla 2 también se puede observar que la cantidad de CO<sub>2</sub> producido por la quema de diesel es ligeramente superior (5,4%) a la cantidad producida por el alcohol etílico hidratado. En la Tabla 2 también se observa que la cantidad máxima de SO<sub>2</sub> emitida por la quema de **AEHC** es casi despreciable (0,54gr/Gcal) comparada con las cantidades media y máxima emitidas por el diesel (437 e 696 gr/Gcal).

## ATOMIZACIÓN

Los atomizadores Y-Jet son muy utilizados para nebulizar combustibles líquidos en la industria. Este atomizador es presentado en la Figura 2. En esta sección se realiza una comparación teórica entre los diámetros medios de las gotas de diesel y de alcohol etílico hidratado, producidos en atomizadores Y-Jet. Para hacer la comparación fueron calculados cuatro atomizadores (uno de diesel y tres de alcohol) siguiendo la metodología propuesta por LACAVA (2000). El flujo de masa de diesel en el diseño fue de 5 g/s. Dado que el poder calorífico del AEHC es 59 % del correspondiente del diesel (para liberar la misma potencia), el flujo másico del AEHC fue 8,45 g/s. Posteriormente, el diámetro medio de las gotas del spray  $D_m$  (también conocido como **MMD**) producido por los atomizadores, fue calculado con la ecuación de Wigg (MULLINGER e CHIGIER, 1974)

$$D_m = \frac{200 \cdot v^{0.5} w^{0.1} (1 + w/A)^{0.5} h^{0.1} \sigma^{0.2}}{\rho_{at}^{0.3} V}, \quad (1)$$

Donde:  $D_m$  es el diámetro medio de masa [ $\mu\text{m}$ ],  $v$  es la viscosidad cinemática del combustible [cSt],  $w$  es el flujo de masa del combustible [g/s],  $A$  es el flujo de masa del aire de atomización [g/s],  $h$  es el radio de la cámara de mezcla [cm],  $\sigma$  es la tensión superficial del combustible [dina/cm], y  $\rho_{at}$  es la masa específica del aire de atomización [g/cm<sup>3</sup>].

Los resultados son presentados en la Tabla 3. Los cálculos del diseño de los atomizadores y de los diámetros medios de las gotas fueron repetidos variando la razón de atomización<sup>1</sup> y los resultados son presentados en la Figura 3.

En la Figura 3, se puede observar que los diámetros medios de las gotas producidas por los atomizadores de alcohol son menores en todos los casos que el producido por el atomizador de diesel. También se puede observar que en el caso 2 se obtiene el menor diámetro de la gota, seguido por el caso 1 y finalmente por el caso 3. Los resultados son mejor entendidos analizando la Tabla 3.

<sup>1</sup> Razón de atomización es la relación entre el flujo másico de aire de atomización y de combustible..

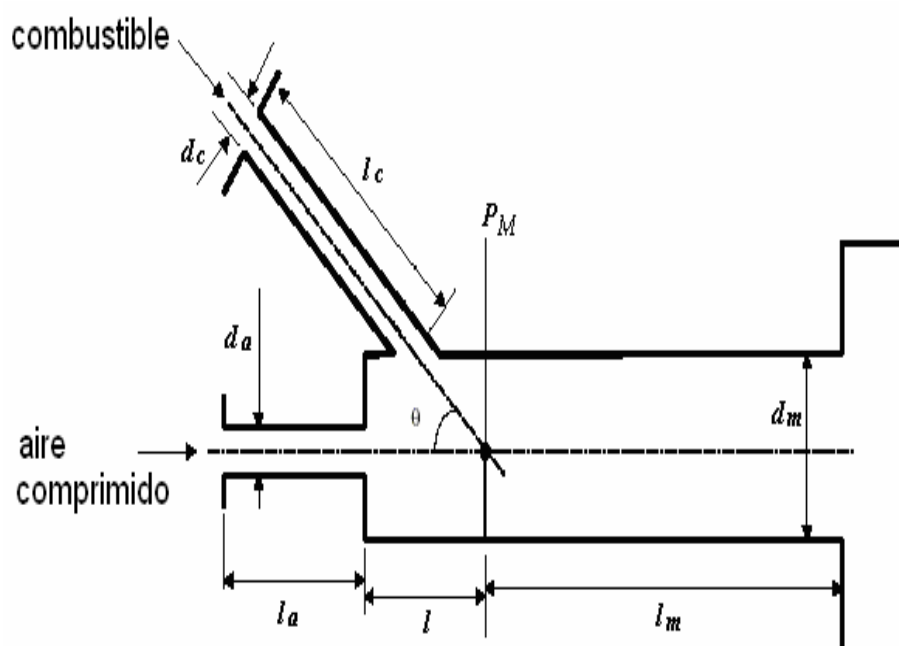


Figura 2. Atomizador Y-Jet

Tabla 3. Resultados de los proyectos de los atomizadores de alcohol y de diesel.

Variables	Diesel	Alcohol		
		Caso 1	Caso 2	Caso 3
W : Flujo de masa del combustible [g/s]	5	8,45	8,45	8,45
$d_a$ : Diámetro del conducto de aire [mm]	1,0	1,2	1,0	1,0
$M_a$ : Numero de Mach [adimensional]	1	1	1	1
$T_0$ : :Temperatura de estancamiento del aire de atomización [K]	300	300	300	124,8
$P_0$ : Presión de estancamiento del aire de atomización [at]	3	3	4,55	3
$\nu$ : Viscosidad cinemática del combustible [cSt]	3,707	1,78	1,78	1,78
T : Temperatura del aire de atomización [K]	250	250	250	104
P : Presión del aire de atomización [at]	1,58	1,58	2,40	1,58
$\rho_{at}$ : Masa específica del aire de atomización [kg/m <sup>3</sup> ]	2,24	2,24	3,395	5,380
$V_{at}$ : Velocidad del aire de atomización [m/s]	316,93	316,93	316,93	199,98
$P_{ic}$ : Presión de inyección del combustible[Pa]	0,43	0,61	1,25	1,25
MMD : Diámetro mediano de masa [ $\mu$ m]	44,4	32,2	27,8	39,95

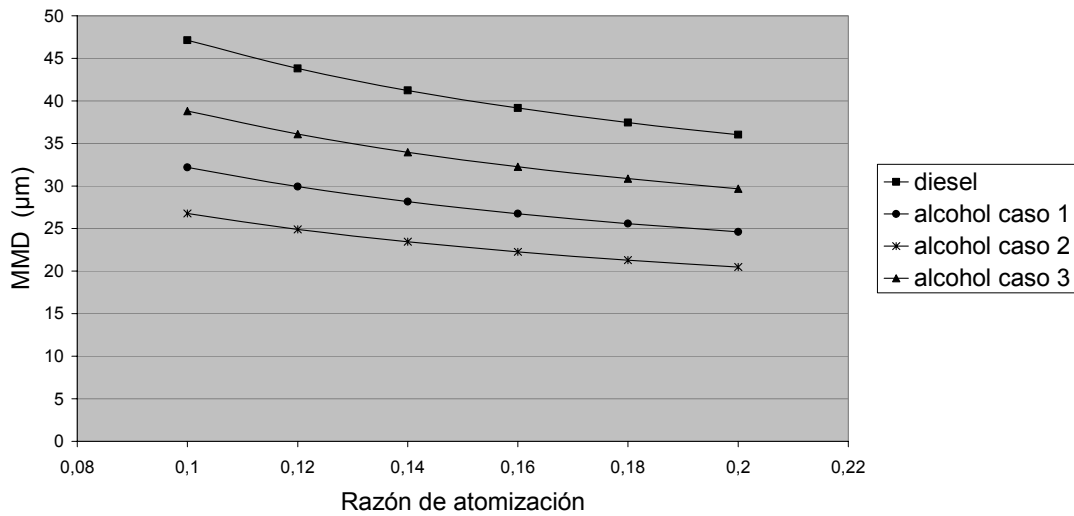


Figura 3. Variación del diámetro de la gota versus razón de atomización.

En el caso 1 (atomizador con medidas diferentes del atomizador de diesel), la disminución se debe exclusivamente al hecho que la viscosidad cinemática del diesel es mayor que la del AEHC. En el caso 2 (atomizador con las mismas medidas del atomizador de diesel) la disminución también se debe al aumento del flujo de masa del combustible manteniéndose constante la temperatura y el diámetro del conducto de aire, originando eso el incremento de la presión y en consecuencia, de la masa específica de el aire de atomización, lo cual según la ecuación de Wigg, trae como resultado la disminución del **MMD**. También se puede observar un incremento en la presión de inyección de combustible. En el Caso 3, la disminución del **MMD** es menor que la obtenida en los casos anteriores, y esto se debe al hecho que la masa específica del aire de atomización aumenta, mas la velocidad disminuye considerablemente, siendo que esta tiene mayor influencia sobre el **MMD**.

Resumiendo, el caso 2 se presenta como la mejor alternativa. Como este atomizador tiene las mismas medidas del atomizador del diesel, podemos concluir que un atomizador de diesel produce un spray mas fino funcionando con alcohol, desde que se mantengan los valores recomendados del número de Mach y de la temperatura de estancamiento del aire ( $Ma = 1$  e  $T_0 = 300K$ ), y se modifique la presión de estancamiento del aire y la presión de inyección del combustible.

## COMPORTAMIENTO DE LA LLAMA Y EMISIÓN DE POLUENTES

Según la teoría de combustión propuesta por (SUZUKI e CHIU, 1971), los líquidos pueden quemar como llamas de gota y de grupo. Sprays diluidos, de combustibles no volátiles y de gotas liquidas grandes, permiten el ingreso suficiente de oxígeno en la región central del spray para que la mezcla reactiva se encuentre entre los limites de inflamabilidad, formado así llamas en torno de una única gota. Dada la amplia variación de tamaños, dirección y velocidades de las gotas, el spray con este tipo de quema presenta irregularidad en la mezcla reactiva, apareciendo zonas ricas y otras pobres en combustible. En las zonas ricas se forma hollín y el material particulado, el cual da a la llama el

característico color amarillo. Estas zonas también son favorables para la formación de ciano-compuestos que reaccionan para formar el NO a través del mecanismo inmediato (WILLIAMS, 1990).

En la combustión de grupo, el spray quema formando llamas alrededor de nubes de gotas. En llamas de sprays densos, combustibles volátiles, y diámetros pequeños de las gotas, la cantidad de vapor de combustible puede ser tan alta que impide el ingreso de suficiente oxígeno necesario para formar una mezcla inflamable en la región central del spray; siendo así, la llama se forma en la región periférica donde hay cantidad suficiente de oxígeno. Esas llamas son homogéneas, similares a las llamas de difusión gaseosa, por tanto no forman hollín ni material particulado y tiene un color característico azul. Debido que la quema de este combustible no forman partículas sólidas, su llama es poco radiante, dando origen a un aumento de temperatura de la llama y a la formación del  $\text{NO}_x$  por el mecanismo térmico.

Dada la alta volatilidad del **AEHC**, su buena atomización y mayor densidad del spray (necesita inyectarse mayor cantidad de combustible debido a su bajo poder calorífico), es de esperarse que queme como grupo. Los trabajos experimentales de (MACHIROUTU, 2001) y de (LENÇO, 2004) confirman esa hipótesis. Ellos observaron en sus trabajos que la llama de alcohol es una llama azul sin la presencia de hollín y con baja intensidad de radiación. MACHIROUTO caracterizo la llama del etanol como una combustión interna de grupo.

Es conocido que el diesel tiene baja volatilidad. Se espera entonces que la quema sea del tipo de gota. AIZAWA, et al. (1996), KADOTA, et al. (1998) e KOSAKA et al. (2001) investigaron los procesos de formación de hollín en llamas de diesel, con sprays producidos en atomizadores de presión. Ellos encontraron cantidades considerables de hollín en la quema de ese combustible, lo cual es una indicación de una combustión tipo gota.

## **POLUCIÓN**

El alcohol etílico hidratado se presenta como un interesante combustible alternativo al diesel, para reducir las emisiones de contaminantes. Eso porque el etanol contiene oxígeno en su molécula, es un combustible extremadamente volátil, que quema como grupo y porque el **AEHC** contiene agua en su composición (7% en masa). Esas características son generalmente favorables para una buena combustión. En este sentido, muchos trabajos de investigación están investigando los efectos en la formación de contaminantes, por la adición de etanol, agua o ambos en la quema de diesel. Se ha mostrado ampliamente que cuando es adicionado el etanol al diesel, el principal beneficio es la reducción de hollín y partículas sólidas, seguido por la disminución de CO. En el caso de los óxidos de nitrógeno, algunos investigadores reportan una disminución en la formación de esos contaminantes con esa adición; entre tanto, otros reportan su aumento. AJAV et al. (1999) mostraron que conforme es incrementada el porcentaje de etanol adicionado al diesel, la temperatura de salida de gases y las emisiones de CO y  $\text{NO}_x$  fueron reducidas. SUPPES (2000) analizan los resultados experimentales de diferentes autores concluyendo que se puede hablar efectivamente de una reducción de las partículas sólidas cuando se adiciona etanol al diesel, mas no se puede concluir lo mismo para el  $\text{NO}_x$ , dado que unos investigadores reportan aumento de su emisión y otros su disminución. XING-CAI et al. (2004) mostraron una reducción de partículas sólidas y  $\text{NO}_x$  utilizando mezclas diesel/etanol. La reducción de esas partículas también es destacada en la revisión bibliográfica hecha por HANSEN et al. (2005).



Por su parte, fue comprobado que la adición de agua al diesel contribuye para la reducción de las emisiones del  $\text{NO}_x$ , partículas sólidas y CO. WILLIAMS (1990) muestra que la formación de partícula sólida en un spray puede ser minimizada por la adición de pequeñas cantidades de agua (5 a 15% en masa) al combustible, en forma de una emulsión. KADOTA, et al. (1998) observaron que la intensidad de los picos de formación de hollín formados en los sprays de diesel disminuye con la adición de metanol, etanol (anidro) o agua. Según LENÇO (2004), una técnica usada para controlar la emisión de  $\text{NO}_x$  es la inyección de 5 a 10 % de agua en la forma líquida o de vapor, en la zona de combustión de la cámara. Eso contribuye para la reducción de la temperatura de combustión y, de esa manera, del  $\text{NO}_x$  térmico. LING e PAN (2001) encontraron reducción en la emisión de CO y  $\text{NO}_x$  en motores marinos a diesel utilizando emulsiones agua/diesel (A/D). LING e WANG (2004) mostraron que las emisiones de esos contaminantes disminuyen más cuando son utilizadas emulsiones trifásicas A/D/A o D/A/D.

Con respecto al  $\text{CO}_2$  se debe tener en cuenta que el carbono presente en el etanol fue retirado de la atmósfera (en la forma  $\text{CO}_2$ ) por la caña de azúcar durante su etapa de crecimiento. Por tanto del balance general de la matriz energética del alcohol, este combustible no adiciona  $\text{CO}_2$  en la atmósfera. Si se substituye diesel u otros combustibles derivado de petróleo por alcohol, el ganó en disminución de la emisión de  $\text{CO}_2$  será igual al total producido por el combustible substituido.

## CORROSIÓN

El diesel no es corrosivo, por tanto no presenta el problema de ataque sobre materiales. Mientras tanto, el etanol es conocido como una sustancia corrosiva. Eso se debe a impurezas iónicas (principalmente ácido acético, iones de clorato y sulfato), a la polaridad de la molécula de etanol y al contenido de agua. También se ha reportado que el alcohol etílico también ataca al caucho. Debido a la utilización del AEHC en la industria automovilística Brasileña se ha estudiado ampliamente las formas de disminuir el efecto corrosivo de ese combustible.

## CONCLUSIONES

El alcohol etílico hidratado se presenta como un interesante combustible alternativo al diesel, en la quema directa. Eso por los siguientes motivos:

- Es posible utilizar el mismo atomizador de diesel para el alcohol, con una considerable mejora en la atomización y por consiguiente en la eficiencia de la combustión es importante observar que esta substitución solo puede ser alcanzada regulando la presión de inyección de combustible.
- Es posible utilizar la misma cámara de combustión sin alterar la turbulencia y el tiempo de residencia de los gases en la cámara, eso gracias a que la temperatura y el volumen de los gases, no presentan variación significativa cuando realizada la substitución de los combustibles.
- Con la quema de alcohol etílico no se adiciona efectivamente dióxido de carbono para la atmósfera, dado que la caña de azúcar, materia prima del etanol absorbe las moléculas de  $\text{CO}_2$  del ambiente. Es esperada también una reducción de los contaminantes: hollín, y partículas sólidas en general, CO, UHC e  $\text{SO}_2$ .

Es importante observar, no obstante, que para realizar una substitución satisfactoria de diesel por etanol se debe cuidar de los siguientes aspectos:

- El sistema de lubricación y de inyección del combustible debe ser modificado, visto que, el etanol no presenta la viscosidad suficiente para ser utilizado como lubricante y para ser bombeado por la bomba de combustible.
- Deben ser tomadas medidas de seguridad para evitar perdidas por evaporación y riesgos de incendios. Principalmente en los tanques de abastecimiento.
- La acción corrosiva del etanol debe ser reducida, ya sea por la adición de aditivos inhibidores o por la sustitución de otros materiales mas nobles que no sean atacados por el alcohol.

## **PALABRAS CLAVES**

Alcohol etílico, diesel, biocombustibles, combustión, combustibles.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- [1] AIZAWA, T.; KOSAKA, H. and MATSUI, Y.; **Laser diagnostics of early soot formation process in a diesel spray flame**; The Fifth International Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion in Internal Combustion Engines COMODIA 2004; Yokohama; August 2 – 5; 2004.
- [2] AJAV, E.A.; SINGH, B.; BHATTACHARYA, T.K.; **Experimental study of some performance parameters of a Constant speed stationary diesel engine using ethanol-diesel blens as fuel**; Biomass and Bioenergy; Num. 17; pp. 357-365; 1999.
- [3] HANSEN, A.C.; ZHANG, Q.; LYNE, P.W.L; **Ethanol-diesel fuel blends a review**; Bioresources Technology; Num. 96; June; pp. 227-285; 2005.
- [4] KADOTA, T.; YAMASAKI, H.; SEGAWA, D.; KAWATSU, T.; TSUE, M.; **Instantaneous two dimensional visulization of soot concentration profiles in the diesel sprays flames**; Fourth international symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion in Internal Combustion Engines COMODIA 1998; Kyoto, July 20 – 23; 1998.
- [5] KOSAKA, H. T.; AIZAWA, T.; MATSUI, Y.; **Two dimensional imaging of reaction zone structure in diesel spray flame by LIF technique**; The Fifth International Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion in Internal Combustion Engines COMODIA 2001; Nagoya; July 1- 4; 2001.
- [6] LACAVAL, P.T.; **Investigação experimental do enriquecimento do ar na icineração de resíduos aquosos**; Tese de Doutorado; ITA; São Jose dos Campos; 2000.
- [7] LENÇO, P.C; **Estudo experimental da formação e emissão de NO<sub>x</sub> na combustão de etanol e GLP em uma câmara de combustão cilíndrica**; Tese de Doutorado; UNICAMP; Campinas; 2004.

- [8] LIN, C.Y.; PAN, J.P.; **The effects of sodium sulfate on the emissions characterists of an emulsified marine dieseloil-fired furnace**; Ocean engineering; Num. 28; pp. 347-360; 2001.
- [9] LIN, C.Y.; WANG, K.H.; **Diesel engine performance and emission characteristics using three-phase emulsios as fuel**; Fuel; Num. 83; September; pp. 537-545; 2004.
- [10] MACHIROUTU,S.V. **Influenced of drop sise distrubution and fuel vapor fraction on premixed spray combustion**;Philosophic Doctor Disertation; Arizona Estate University; Arizona; 2001.
- [11] SUPPES, G.J.; **Past Mistakes and Future Opportunities of Ethanol in Diesel**; Bioenergy, Buffalo; October, 2000.
- [12] WILLIAMS, A.; **Combustion of liquid fuel sprays**; Butterwoths; London; 1990.
- [13] XING-CAI, L.; JIAN-GUANG, Y.; WU-GAO, Z.; ZHEN, H.; **Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with etanol-diesel blend fuel**; Fuel; Num. 83; June; pp. 2013-2020; 2004.